선로그래프를 이용한 철도망 위상 표현방법

조 동 영[†]

요 약

철도선로망 제어시스템에서 신속한 철도선로의 배정은 실시간 선로배정의 중요한 요소인데, 이 문제의 해결을 위해서는 먼저 철도 선로망의 위상을 정확하게 표현해야 한다. 그래프는 망 구조를 표현하는데 적절한 자료구조이지만 철도 선로망을 표현하는 데에는 부적절하다. 이 논문에서는 철도 선로망의 위상구조를 정확하게 표현할 수 있는 새로운 자료구조인 선로그래프(railway graph) 개념을 정의한다. 그리고 정의된 선로그래프에서의 경로탐색 알고리즘과 선로그래프를 이용한 하향식 철도 선로망 모델링 방법을 설명한다.

Representation Method of Track Topologies using Railway Graph

Cho Dong Young[†]

ABSTRACT

Realtime assignment of railways is an important component in the railway control systems. To solve this problem, we must exactly represent the track topology. Graph is a proper data structure for representing general network topologies, but not proper for track topologies. In this paper, we define a new data structure, railway graph, which can exactly represent topologies of railway networks. And we describe a path search algorithm in the defined railway graph, and a top-down approach for designing railway network by the proposed graph.

Key words: graph, path search, railway graph, track topology

1. 서 론

철도선로망 관리시스템에서 두 지점 사이의 경로 배정이나 임의 한 교차 지점에서의 선로배정 문제는 중요하며, 이러한 철도선로망 관리문제를 해결하기 위해서는 철도선로망 위상구조를 적절하게 표현할 수 있는 자료 구조가 필요하다. 일반적으로 그래프는 네트워크 위상 구조를 표현하는데 적절한 자료구조이지만 철도선로망 표현의 경우에는 부적절한 데 [2,3], 이는 철도 선로의 물리적 특성에 기인한다.

그림 1과 같은 철도선로망에서는 물리적으로 경로 A→B→C, C→B→A, A→B→E, E→B→A의 배정은 가능하지만 경로 C→B→E 또는 E→B→C의 배정은 불가능하다. 그런데, 이 철도선로망을 그림 2의 무방향 그래프 또는 그림 3의 방향그래프로 표현하면 경로 C→B→E 와 E→B→C의 배정도 가능하게 된다. 따라서, 그래프는 위와 같은 철도선로망 위상을 표현하기에는 적절하지 못하고, 별도의 자료구조가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 철도 선로망의 위상경로배정 문제를 해결하는 데 적합한 자료구조인 선로그래프(railway graph) 개념을 제안한다.

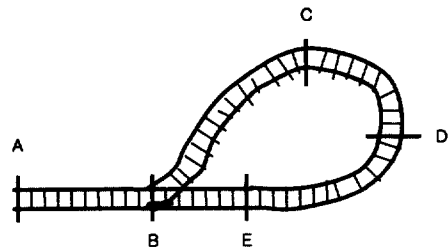



그림 1. 철도 선로망 예

이 논문은 전주대학교 학술연구조성비에 의해 연구되었음
[†] 정회원, 전주대학교 정보기술컴퓨터공학부 부교수

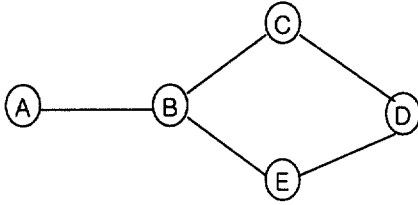



그림 2. 무방향그래프 표현

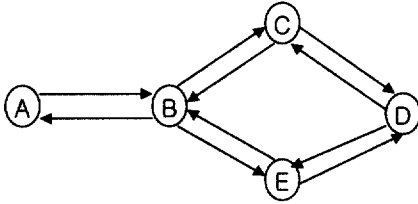



그림 3. 방향그래프 표현

본 논문에서는 2장에서 선로그래프의 기본 개념과 형식구조를 정의하고, 일반 그래프 구조와의 관계를 설명하고, 3장에서는 선로그래프의 메모리 표현 방법과 경로탐색 방법을 한다. 그리고 4장에서는 선로그래프를 이용하여 철도선로망 위상을 모델링하는 방법을 설명한다.

2. 선로 그래프

2.1 기본개념

철도선로망의 위상 표현을 위해서 선로그래프에서는 두 종류의 선분, 즉, 내부선분(inner edge)과 외부선분(outer edge) 개념을 정의한다. 내부선분에 의해 연결된 두 지점은 선로망의 교차역이나 간이역 구내에서의 선로의 연결성을 표현하고, 외부 선분은 지리적으로 떨어져 있는 서로 다른 두 간이역 사이의 연결성을 표현한다. 따라서, 내부선분에 의해 연결된 점들은 동일 교차점이나 간이역을 표현하는 점들이고, 외부 선분은 서로 다른 교차점이나 간이역에 속하는 점들 사이에서 정의된다. 선로그래프에서 두 지점 사이의 경로는 내부선분과 외부선분의 연속적인 교대를 통해 구성된다. 즉, 선로그래프에서 두 개의 연속적인 내부선분이나 외부선분의 배정을 갖는 경로는 정의되지 않는다. 그림 4는 그림 1의 철도 선로망을 선로그래프로 표현한 것이다. 그림 4의 선로그래프 표현에서는 그림 2, 그림 3의 그래프 표현에서

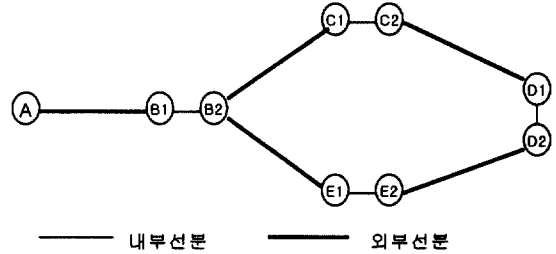



그림 4. 그림 1의 선로그래프 표현

와는 달리 경로 [A]→[B]→[C], [C]→[B]→[A], [A]→[B]→[E], [E]→[B]→[A]의 배정은 가능하지만 경로 C1→B2→E1 또는 E1→B2→C1의 배정은 불가능하다. 여기서 [A], [B], [C], [D], [E]는 동치관계인 정점들의 집합으로 각각 {A}, {B1, B2}, {C1, C2}, {D1, D2}, {E1, E2}를 의미한다.

2.2 형식정의 및 특성

[정의 1] 선로그래프(railway graph) G는 하나 이상의 정점들의 집합 V와 내부선분(inner edge)들의 집합 E_{in}와 외부선분(outer edge)들의 집합 E_{out}으로 구성되는 선분들의 집합 E로 구성(즉, G=<V, E>)되며, 다음과 같은 특성을 갖는다.

① $E = E_{in} \cup E_{out}$

② 만약 $<v,w> \in E_{out}$이면, $<v,w> \in E_{in}$이고, 정점 v, w는 내부선분들만으로는 연결될 수 없다.

[정의 2] 선로그래프 G=<V, E>에서, 두 정점 v에서 w로의 경로 v→w는 다음과 같이 정의된다.

$$v \rightarrow w = <v,x_1>,<x_1,x_2>,<x_2,x_3>,<x_3,x_4>, \ldots ,<x_{n-2}, x_{n-1}><x_{n-1},x_n><x_n,w> = <v,x_1,x_2,x_3,x_4, \ldots ,x_{n-2},x_{n-1},x_n,w>$$

여기서,

① n=홀수, $<v,x_1> \in E_{in}$ 이면, $<v,x_1>,<x_2,x_3>, \ldots ,<x_{n-1},x_n> \in E_{in}$ 그리고 $<x_1,x_2>,<x_3,x_4>, \ldots ,<x_{n-2},x_{n-1}>, <x_n, w> \in E_{out}$

② n=짝수, $<v,x_1> \in E_{in}$ 이면, $<v,x_1>,<x_2,x_3>, \ldots ,<x_{n-2},x_{n-1}>,<x_n, w> \in E_{in}$ 그리고 $<x_1,x_2>, <x_3,x_4>, \ldots ,<x_{n-1},x_n> \in E_{out}$

③ n=홀수, $<v,x_1> \in E_{out}$ 이면, $<x_1,x_2>,<x_3,x_4>, \ldots ,<x_{n-2},x_{n-1}>, <x_n, w> \in E_{in}$ 그리고 $<v,$

$x_1>,<x_2,x_3>, \ldots ,<x_{n-1},x_n> \in E_{out}$

④ n=짝수, $<v,x_1>\in E_{out}$ 이면, $<x_1,x_2>,<x_3,x_4>, \ldots ,<x_{n-1},x_n> \in E_{in}$ 그리고 $<v,x_1>,<x_2,x_3>, \ldots ,<x_{n-2},x_{n-1}>,<x_n, w> \in E_{out}$

정의 2로부터, 그림 4에서 경로 E1-B2-C1(즉, $<E1,B2>,<B2, C1>$)은 2개의 연속된 외부선분들로 구성되기 때문에 허용되지 않지만 경로 A-B1-B2-C1 (즉, $<A,B1>$, $<B1,B2>,<B2,C1>$)이나 E1-B2-B1-A (즉, $<E1,B2>,<B2, B1>,<B1,A>$)는 허용된다.

한편, 그림 2 및 그림3과 그림 4를 비교해 보면, 그림 4의 선로그래프는 일반 그래프 표현과 비교해서 정점의 개수가 많은 문제를 가지고 있는데, 이러한 문제는 정점들 사이의 내부선분에 의한 동치관계를 이용한 쿼션트 그래프(quotient graph) 개념을 사용하여 해결할 수 있다. 선로그래프에 대한 쿼션트 그래프는 선로그래프가 일반 그래프 구조로 변환되는 수단을 제공한다.

[정의 3] 선로그래프 $G=<V, E>$에서, 두 정점 v에서 w로의 지역경로 $v\rightarrow w$는 다음과 같이 정의된다.

$v\rightarrow w = <v,x_1>,<x_1,x_2>, \ldots ,<x_{n-1},x_n><x_n,w>$,

여기서, $\{<v,x_1>,<x_1,x_2>, \ldots ,<x_{n-1},x_n><x_n,w>\} \subseteq E_{in}$

[정의 4] 선로그래프 $G=<V, E>$의 두 정점 v에서 w에 대해 다음과 같이 정의되는 관계(relation) R을 지역연결(local connected) 관계라고 한다.

$(v, w)\in R \Leftrightarrow$ 지역경로 $v\rightarrow w=<v,x_1>,<x_1,x_2>, \ldots ,<x_{n-1},x_n><x_n,w>$이 존재한다.

[보조정리] 선로그래프$G=<V, E>$에서 지역관계 R은 동치관계이다.

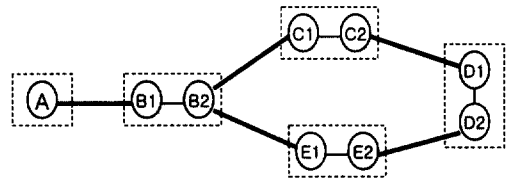
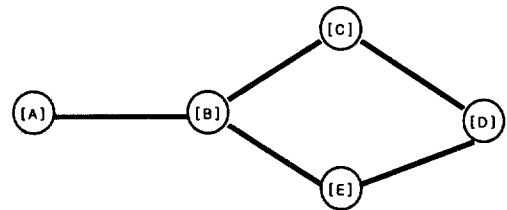
[증명] ① $\forall$ $v\in V$에 대해, $<v,v>\in R$은 가능하다(선로그래프의 의미에 영향없음). ②선로그래프는 무방향 그래프이므로 $<x,y> \in R$ 이면, $<y,x>\in R$ ③ $<x,y>,<y,z>\in R$ 이면, 내부지역경로 $x\rightarrow y$, $y\rightarrow z$가 존재한다. 두 경로를 연결하면, $x\rightarrow y\rightarrow z$. 즉, 지역경로 $x\rightarrow z$ 도 존재하므로, $<x,z>\in R$. 따라서, ①, ②, ③으로부터 지역관계 R은 동치관계이다.

[정의 5] 선로그래프 $G=<V, E>$와 지역관계 R에 대해, G의 쿼션트 그래프(quotient graph) G/R은 다음과 같이 정의된다.

$G/R = <V/R, E/R>$

여기서 $V/R = \{V/R[x] \mid V/R[x]= \{y \mid y\in V, (y,x) \in R\} \}$

$E/R = \{<V/R[v],V/R[w]> \mid V/R[v], V/R[w]\in V/R, <v,w>\in E_{out}\}$

그림 5에서 보는 바와 같이, 선로그래프 G의 쿼션트 그래프 G/R은 동치관계인 정점들의 집합에 대한 일반 그래프 구조가 된다. 쿼션트 그래프 G/R은 선로그래프에서 외부선분들만으로 나타나게 되는 철도선로망의 위상 구조를 표현하게 된다.

(가) 선로그래프 G

[A]={A}, [B]={B1,B2}, [C]={C1,C2}, [D]={D1,D2}, [E]={E1,E2}.

(나) G에 대한 쿼션트 그래프 G/R

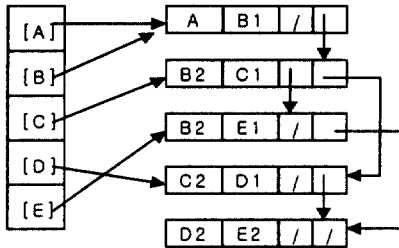
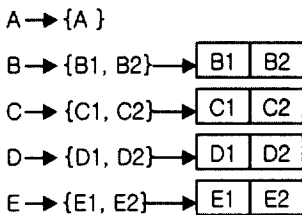
그림 5. 선로그래프와 쿼션트그래프 개념

3. 선로그래프의 표현과 경로탐색

3.1 선로그래프 표현 방법

그래프의 표현방법은 인접행렬, 인접리스트, 그리고 인접다중리스트 표현방법이 있지만[1,2,3], 선로그래프는 많은 정점들로 인해 기존 그래프 표현 방법으로 저장하면 많은 메모리를 필요로 하게 된다. 이러한 선로그래프의 표현문제는 선로그래프와 쿼션트 그래프의 관계를 이용하면 해결할 수 있다.

선로그래프에서 내부선분들로 연결된 정점들은

동치관계 집합(equivalence realtion class)을 구성하여 쿼션트 그래프에서 한 정점으로 나타낸다. 따라서, 선로그래프의 외부선분들은 쿼션트 그래프를 이용하여 표현하고, 내부 선분들은 각 동치관계 집합 단위로 표현한다. 즉, 선로그래프의 외부선분들은 쿼션트 그래프의 각 정점 [v]들에 인접한 외부선분들을 인접다중 리스트로 표현하여, 내부선분들은 각 동치관계 집합에서 인접리스트로 표현하면 된다. 선로그래프에서 두 정점 사이의 경로는 내부선분과 외부선분이 교대로 나타나기 때문에 내부선분 집합들을 동치관계 집합으로 분리해서 표현하면 선로그래프 표현의 메모리 요구량을 줄일 수 있다. 그림 6은 그림 4의 선로그래프에 대한 표현를 나타낸다.

(가) 외부선분 표현

(나) 내부선분 표현

그림 6. 선로그래프의 저장구조

위와 같이 주어진 선로그래프 표현에서 두 정점 A, C 사이의 경로 A→B→C의 존재여부는 다음과 같은 방법으로 알아낼 수 있다.

1) 선로그래프의 외부선분 표현에서, 정점 [A]의 인접선분 리스트를 조사하여 정점 B와 동치관계 정점들[B]을 포함하는 외부선분이 존재하는지를 조사한다.

2) 만약 정점 B와 동치관계인 정점 [B]가 존재하면, 선택된 점 Bi에 대해, [B]에 대한 내부선분 표현에서 Bi로 시작되는 내부선분(단, 선분 (Bi,Ai)는 무시한다)를 선택하고, 선택된 선분의 종결점이 [C]인지를 검사한다. 만약 이러한 내부선분이 존재하면, 경로 A→B→C는 선로그래프에서 유효한 경로가 되고, 그러지 않으면 경로 A→B→C는 선로그래프에서 정의되지 않는다.

3) 만약 정점 B와 동치관계인 정점 [B]가 존재하지 않으면, 선로그래프에서 경로 A→B→C는 존재하지 않는다.

3.2 경로탐색 알고리즘

G를 선로그래프, G/R을 G에 대한 쿼션트 그래프라고 하고, i, j를 G의 서로 다른 두 정점이라고 하자 그러면, G에서 정점 i에서 j로의 경로는 다음과 같이 구해진다.

1) 쿼션트 그래프 G/R을 구성한다.

2) G/R에 대해 V/R[i]에서 V/R[j]로의 경로를 생성한다. 쿼션트 그래프 표현에서의 경로탐색 방법은 다음 알고리즘과 같이 일반그래프에서 경로탐색 알고리즘[3,4,5,6]들을 수정하여 이용할 수 있다.

```
Algorithm search_path(G/R, V/R[i], V/R[j]) {
  // v : 출발점
  // path_set :경로 V/R[i]→V/R[j]의 점들의 집합)
  // visited[x] : 점 x의 방문여부 표시배열
  v←V/R[i];
  path_set ←{v}
  visited[v] ← true;
  for (each vertex w adjacent to v in G/R) do {
     if (w=V/R[j]) {
        path_set ← path_set∪ {w}
        return;
     }
     if (not visited[w])
        search_path(G/R, w, V/R[j]);
  }
}
```

3) 2에서 생성된 경로 P: V/R[i]→V/R[j]의 각 중간정점들에 대해 경로 P가 내부선분에 의해 연결되는지를 검사한다. 즉, P의 각 중간점 V/R[v]에 대해, v1, v2 ∈ V/R[V] 인 내부선분 <v1,v2>가 E_{in} 에 존재하면, 선로그래프에서 경로 P는 해당 중간점을 경유하게 된다. 경로 P의 모든 중간 정점들이 앞의 조건을 만족하면 경로 P는 선로그래프에서 유효한 경로가 된다.

4. 철도선로망 설계방법

4.1 트랙 요소

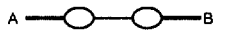
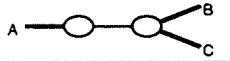
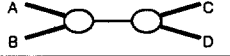
선로그래프를 이용하여 철도 선로망을 표현하면 내부선분은 철도역 구내에서의 선로 경로배정을 나타나게 된다. 즉, 선로그래프의 내부선분들은 철도 선로의 교차점을 나타내게 되는데, 이를 트랙요소(track element)라고 한다. 일반적으로 철도 선로의 교차점을 나타내는 트랙요소는 그림 7과 같이 4가지로 구성된다.

A	① end
A B	② track section
A B C	③ single switch
A B C D	④ double switch

그림 7. 선로그래프의 트랙요소

그림 7에서 ①은 철도선로의 종단점을 의미하고, ②는 철도선로의 선형연결(A-B)을 의미한다. 그리고 ③은 단순 스위칭 선로로 A-B 또는 A-C의 연결만을 의미하고, ④는 이중 스위칭 선로로 A-C, A-D, B-C, B-D의 모든 선로연결을 의미한다. 이러한 트랙요소는 철도망의 선로배정 문제를 표현하기 위한 기본요소들이 된다.

4.2 철도선로망 설계방법

선로그래프는 철도 선로망의 위상을 표현하는데 적합한 자료구조로 일반 그래프와 비교해서 많은 정점의 수를 요구하지만 쿼션트 그래프 개념은 선로그래프의 이러한 문제점을 극복할 수 있게 한다. 일반적으로 철도 선로망을 선로그래프로 표현하면 선로망의 교차점이나 한 철도역 구내에서의 선로 교차점들은 내부선분으로 표현되고, 철도 선로망의 전체 위상구조는 그래프 구조로 표현할 수 있다. 이러한 선로그래프의 외부선분과 내부선분 개념은 다음과 같은 상향식 접근(top-down approach)에 의해 철도 선로망의 위상을 설계할 수 있게 한다.

단계-1. 철도 선로망의 각 역이나 선로교차점을 쿼션트 그래프의 정점으로 표현한다.

단계-2. 단계 1에서 모델링된 정점(철도역)들의 집합에 대해 철도선로망의 외부연결 상태를 두 정점 사이의 선분이나 경로를 통해 표현한다. 이 단계에서 모델링되는 선분들은 선로그래프의 외부선분이 된다.

단계-3. 단계 1에서 모델링된 각 정점에 대해, 4.1절에서 설명한 트랙요소들을 이용하여 각 정점 내부에서의 내부연결 상태를 표현한다. 각 정점에서의 트랙요소는 쿼션트 그래프에서 외부선분에 의한 인접들과의 연결성에 의해 결정된다. 트랙요소에 의해 표현되는 선분들은 선로그래프의 내부선분이 된다.

5. 결 론

철도선로망 관리에서 두 지점 사이의 선로배정이나 선로 교차점에서의 선로 교환제어는 중요하며, 이의 컴퓨터 처리를 위해서는 철도선로망에 대한 위상구조를 적절하게 표현할 수 있는 데이터 구조가 필요하다. 일반적으로 그래프는 철도 선로망을 표현하는데 부적절하다. 본 논문에서는 철도 선로망의 위상경로 배정문제를 해결하기 위해 선로그래프 개념과 이 그래프에서의 경로탐색 알고리즘을 제안, 설명하고, 이를 이용한 철도 선로망 설계방법을 제시하였다.

제안된 선로그래프에서는 내부선분와 외부선분 개념을 정의한다. 내부선분에 의해 연결된 두 지점은 선로망의 교차역이나 간이역 구내에서의 선로의 연결성을 표현하고, 외부 선분은 지리적으로 떨어져 있는 서로 다른 두 간이역 사이의 연결성을 표현하며, 선로그래프에서 두 지점 사이의 경로배정은 내부선분과 외부선분의 연속적인 교대를 통해 수행된다. 그리고 선로그래프에 대한 쿼션트 그래프는 선로그래프가 일반 그래프 구조로 변환되는 수단을 제공한다.

참 고 문 헌

[1] A. Michael Berman, Data Structures via C++: Objects by Evolution, Oxford University Press, 1997.

[2] Ellis Horowitz, Sartaj Sahni and Susan Anderson-Freed, Fundamentals of Data Structures in C, Computer Science Press, 1993.

[3] Mark Allen Weiss, Data Structures and Al-

orithm Analysis in C, The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., 1993.
[4] Richard Neapolitan, Kumarss Naimipour, Foundations of Algorithms, D. C. Heath and Company, 1996.
[5] Robert Sedgewick, Algorithms in C++, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
[6] Sara Basse, Computer Algorithms: Introduction to Design and Analysis(2nd Edition), Addison-Wesley Publishing Company, 1988.
[7] William J. Collins, Data Structures:An Object-Oriented Approach, Addison-Wesley Publishing Company, 1985.

조 동 영

1986년 고려대학교 수학교육학과 (이학사)
1988년 고려대학교 이학석사(전산학 전공)
1992년 고려대학교 이학박사(전산학 전공)
1993년~현재 전주대학교 정보기술컴퓨터공학부 부교수
관심분야 : 데이터베이스, 데이터마이닝, 이동컴퓨팅, 멀티미디어